

## **MORTEROS HIDRÁULICOS PARA ENLUCIDOS: CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y FÍSICA DE REMEDIOS TRADICIONALES Y PRODUCTOS INDUSTRIALES**

**Costa, G. - Fatta, G.**

Dipartimento di Progetto e Costruzione Edilizia, Università di Palermo, Palermo, Italia  
e-mail: costa@unipa.it – fatta@unipa.it

### **RESUMEN**

La necesidad de atribuir propiedades impermeabilizantes a algunas superficies de construcciones acabadas con enlucidos, es decir, la necesidad de emplear materiales de revestimiento con resistencia mecánica mejor que las de los morteros de cal aérea, ha producido relaciones técnicas quedadas casi invariadas en el tiempo desde la civilización romana hasta la importación de los aglutinantes hidráulicos, ampliamente empleados en la obra de construcción desde el inicio del siglo pasado.

La cultura técnica actual sugiere emplear en las obras de restauración de arquitecturas monumentales, materiales con prestaciones compatibles con lo que existe, y entonces con características mecánicas, químicas y físicas parecidas a las verificables en la construcción histórica: junto a volver a proponer materiales y técnicas deducidas por las tradiciones locales, se considera que la defensa del patrimonio histórico pueda realizarse también con la utilización de técnicas modernas, a condición de que la eficacia de éstas sea verificada científicamente y comprobada por experiencia.

El presente estudio constituye una primera relación de las indagaciones que se están desarrollando actualmente en el DPCE de la Universidad de Palermo, en una tesis de doctorado.

De acuerdo con las normas de procedimiento a nivel nacional e internacional los experimentos de laboratorio aportan una serie de datos que se refieren a la caracterización mecánica y física de morteros para enlucidos, tanto preconfeccionados en establecimientos industriales como obtenidos mezclando los componentes básicos (aglutinante, agregados-reactivos y no-y agua). En los límites de las efectivas posibilidades técnicas, nos hemos orientado hacia las "recetas" de tipo tradicional, muy difundidas por los tratados italianos y europeos, pero parcialmente reconocibles a través de análisis de laboratorio.

La selección de los componentes básicos que se emplean en la ejecución de las pruebas, se ha dirigido hacia las materias primas (como las arenas locales, el "*cocciopesto*", o la puzolana del Lazio) y productos de derivación industrial (como el "*grassello*", la cal hidráulica en polvo) comercializados en el ámbito palermitano o, más genéricamente, de la Sicilia occidental; la estrechez del ámbito comercial es consiguiente a la observación de las exigencias económicas de la obra de restauración que, por naturaleza, tiene que ponerse en relación con las características materiales y ambientales de la estrecha área geográfica.

### **INTRODUCCION**

Después de los descubrimientos científicos que revolucionaron los seculares conocimientos sobre los morteros y las prácticas constructivas tradicionales, desde la mitad del siglo XIX se asistió a una continua búsqueda sobre las características prestacionales de los productos y a un desarrollo tecnológico que, también hoy en día, implica el interés de los diferentes sujetos que están en el proceso edilicio, del comitente al proyectista, del productor a los obreros.

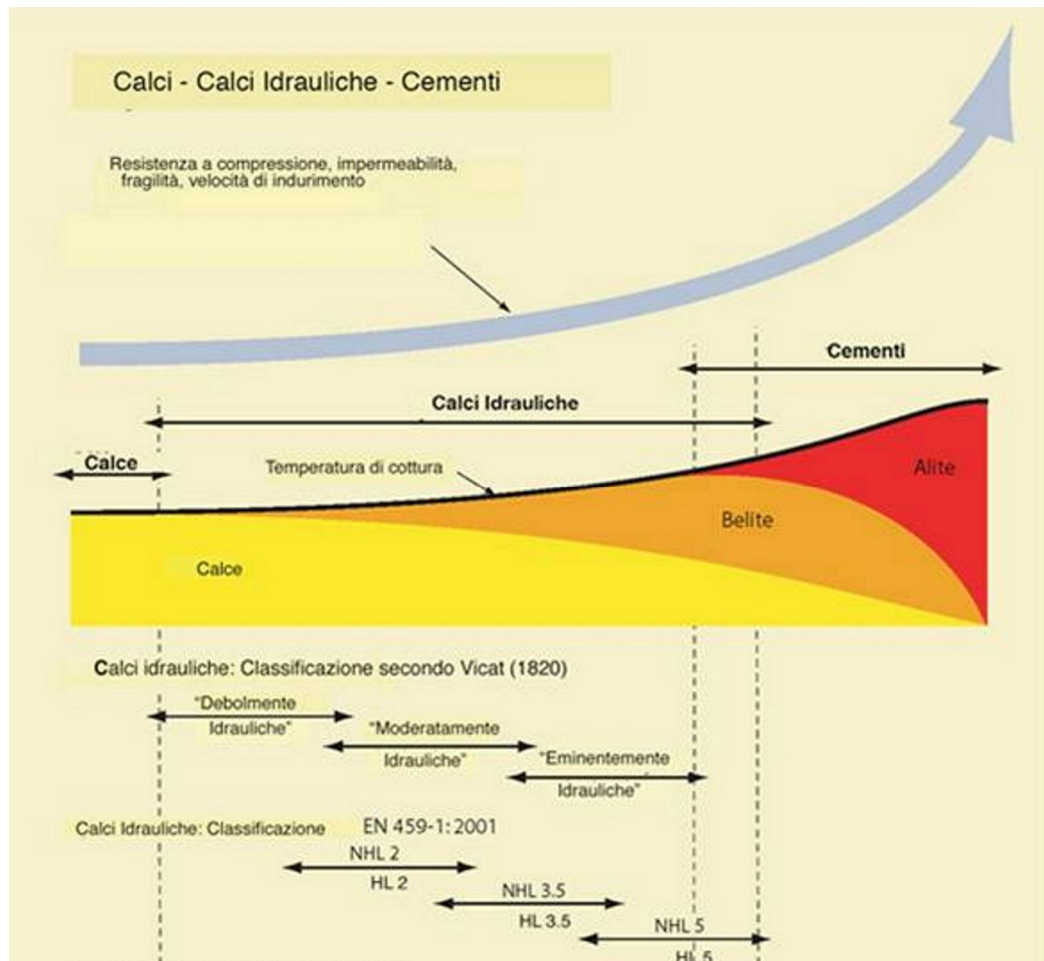
En proporción a las diferentes finalidades y a las específicas funciones a cumplir, los morteros tienen que satisfacer las exigencias del comitente, por lo menos en parte, en la medida en que los permitan las eventuales exigencias específicas de un determinado intervención o contexto. Se refiere en particular a la importancia que algunas características pueden haber en la elección de una técnica ejecutiva o de un producto en relación a otros, del aspecto superficial al color, de la resistencia mecánica a la permeabilidad a la agua, a la compactibilidad en la elaboración.

Los morteros más difundidos en la tradición constructiva siciliana, como para todo el mundo antiguo occidental, tienen un ligante hecho preponderantemente de *grassello* de cal área: cuando se hace macerar el ligante por mucho tiempo en agua, estas tienen en general una escasa resistencia mecánica y una elevada permeabilidad a la agua, incluso siendo particularmente idóneas para las capas de perfeccionamiento de un revoque, a causa de la elevada laborabilidad y a la buena rendición estética.

Desde la obra de Vitruvio relativa a la Roma imperial, la literatura técnica de todos modos siempre evidenció la necesidad de conseguir morteros con características aptas por los casos de condiciones particulares - se piensa la elaboración de morteros de elevada resistencia mecánica, capaces de hacer toma y endurecer en ambiente húmedo por la realización, por ejemplo, de las pilas de un puente o los muelles portuarios. De la añadidura en el amasijo de agregados reactivos, como por ejemplo el *pozzolana*, el *cocciopesto*, las escorias de hierro, el polvo de vidrio, capaz de otorgar características de hidráulidad más sobresaliente a los tradicionales morteros de *grassello*, se pasó con infinitas cautelas a la cocción de aquellas calizas arcillosas que, excepto en pocos casos, la tradición constructiva excluyó del empleo. Hasta tiempos cercanos fueron llamadas fontanerías los morteros de *grassello* en que el agregado fue reemplazado por materiales de comportamiento pozzolanico; "semilla-fontanerías" si la sustitución fue contenida en la mitad.

Los estudios de Vicat<sup>1</sup> sobre la hidráulidad de los morteros, de gran interés aplicativo y científico, tuvieron notable importancia sobre los conocimientos de aquéllos que hoy entendemos como colantes hidráulicos o sea las cales hidráulicas y los cementos. Las elevadas prestaciones mecánicas y fontanerías del cemento Portland por mucho tiempo no lograron hacer pasar en según llano el interés sobre los colantes a comportamiento intermedio, especialmente en las áreas europeas en que fueron presentes buenas canteras de calizas *marnosi*<sup>2</sup> de la composición apta a la producción de las cales hidráulicas naturales. La importancia de tales productos condujo a búsquedas del siglo XIX que enseñaron la posibilidad de conseguir colantes hidráulicos también por cocción de mezclas de calizas poco marnosi con materiales a alto tenor arcilloso (*pozzolane*, perlite, *cocciopesto*, cascabillo de horno alto, etc.). A esto se sumó una notable difusión de las asillamadas "cales hidráulicas artificiales", conseguidas por la cocción de calizas mezcladas con clinker<sup>3</sup> de cemento Portland. La definición de cal hidráulica artificial (HL), se hecho necesaria para distinguir este última de la cal hidráulico natural (NHL), conseguida por cocción de calizas *marnosi* a temperaturas notablemente más bajas de aquellas solicitudes por la producción de cementos, para subrayar la diversidad en la composición química y en algunos de las prestaciones técnicas.

Muy difusas en la práctica constructiva italiana hasta las primeras décadas del siglo XIX, tal como testimoniado de la tratatística y de los papeles de obra, las cales hidráulicas fueron sucesivamente casi completamente abandonadas debido a la ventaja de los productos a base de cemento. Los morteros de cal hidráulica natural y aquellas semi-hidráulicas son revaluadas hoy en la obra de restauración, a pesar del elevado costo del material consiguiente de procesos productivos más artesanales con respecto de aquellos requeridos de los cementos. La cultura técnica de las últimas décadas ha puesto en tela de juicio la eficacia de estos últimos, especialmente en el ámbito de las intervenciones sobre el patrimonio construido, dónde a los morteros de nuevo empleo se les requiere características de compatibilidad con los materiales empleados en la construcción existente.



**Figura 1. Representación simplificada del espectro de tipos de cal y cementos, con indicación de los principales componentes químicos (I. Brocklebank, [2]).**

Los morteros de cal hidráulica natural y semi-hidráulicas, ofrecen características de resistencia y porosidades parecidas a aquellos de los más frecuentes materiales lapidei que caracterizan la arquitectura histórica, son muy indicadas para reconstrucciones de partes de la albañilería existente, consolidaciones de la misma, o bien como capa de base por los revoques. No ofreciendo prestaciones mecánicas extremas, que no son solicitadas además y en muchos casos serían contraindicadas - se piensa en la notable rigidez del mortero de cemento - tienen la notable cualidad de no aportar a las estructuras históricas los daños causados de los sulfatos y de las demás sales presentes en los colantes producidos a altas

temperaturas. Constituyen sin embargo una válida alternativa a los morteros de cal aérea cuando se tiene necesidad de mejorar las prestaciones mecánicas y de hidraulicidad.

El comportamiento general de los morteros empaquetados con cal hidráulica o con agregados activos es difusamente conocido en la literatura técnica. Sin embargo son poco conocidos los datos efectivos de experimentación proveen por su caracterización mecánica y física, también en acuerdo con las recientes modificaciones de los estándares normativos relativos a los métodos de prueba. La finalidad del presente estudio es proveer una contribución a la susodicha colección de datos, más allá de que averiguar la aplicabilidad de algunas normas del procedimiento al caso de morteros conseguidos según "recetas" de tipo tradicional. Se cree además útil cada investigación local que ponga en relación fecha y procedimientos generales con las condiciones y las materias de base típica de particulares áreas geográficas.<sup>4</sup>

## **'RECETAS' DE LA TRADICIÓN Y PREMEZCLADOS: ANÁLISIS Y ACTUALIDAD**

El empleo de morteros con características de hidraulicidad es difusamente conocido en la cultura técnica pasada: ya los romanos utilizaron por obras de fundación en agua conglomerado empaquetados con *grassello* de cal y *pozzolana*, un polvo volcánico cuyo nombre deriva de la localidad en que fue posible hallarla con gran facilidad (Pozzuoli, en las afueras de Nápoles).

Los actuales conocimientos científicos confirman como la sílice y los silicatos hidratos de alúmina (miembro sumamente presentes en el *pozzolana*), reaccionando con el hidróxido cálcico, otorgando al mortero características de hidraulicidad: por esta razón son llamados "con comportamiento *pozzolanico*" otros agregados reactivos, capaz de otorgar hidraulicidad a los morteros de *grassello*, originados en la actividad volcánica o cocción a temperaturas muy altas (pómez, trass del Rin, polvo de ladrillo o vidrio, escorias de horno alto).

Si en los tratados antiguos encontramos difusas indicaciones sobre las fases de producción de los morteros, de la elección de la piedra, a las modalidades de cocción, al apagamiento del colante, a las reglas por la mano de obra, poco fue dicho respecto a la procedencia, a la producción y a la dosificación del agregado con propiedades hidráulicas. Por otra parte, actualmente, la estandarización de los procesos de producción de los aglutinantes<sup>5</sup> hace indudablemente más estable la contribución ofrecido por este últimos, mientras que la gran variabilidad de relaciones entre los muchos miembros asume hoy notable interés en la investigación sobre el comportamiento de los morteros hidráulicos.

En extrema síntesis se evidencia como la experiencia antigua sugiere confeccionar morteros con agregado "de comportamiento *pozzolanico*" solamente en las construcciones en agua, o bien en los casos en que fue necesario impermeabilizar u otorgar resistencias mecánicas elevadas. Vinieron, al revés, mezcladas arenas, de cantera o de río, a los agregados reactivos en los casos en que no existieron las exigencias de emplear morteros excesivamente enérgicos. Especialmente hasta el siglo XVIII, bastante difusos fueron las relaciones extremadamente bajas entre la cantidad del componente colante y aquel del agregado: eso fue posible para la gran atención en la producción artesanal de los colantes y explica la elevada calidad de los revoques que hoy hallamos en el patrimonio construido, también en razón de los reducidos fenómenos de retirada conectada a la pureza de las calas aéreas y a la delgadez de los morteros<sup>6</sup>.

La mayor frecuencia hallada de la relación aglutinante/agregado total, expreso en volumen, es de 1:3 hasta 1:2. Obrando una diferenciación por clases relativas al aglutinante y/o a lo agregado se tiene la siguiente esquematización:

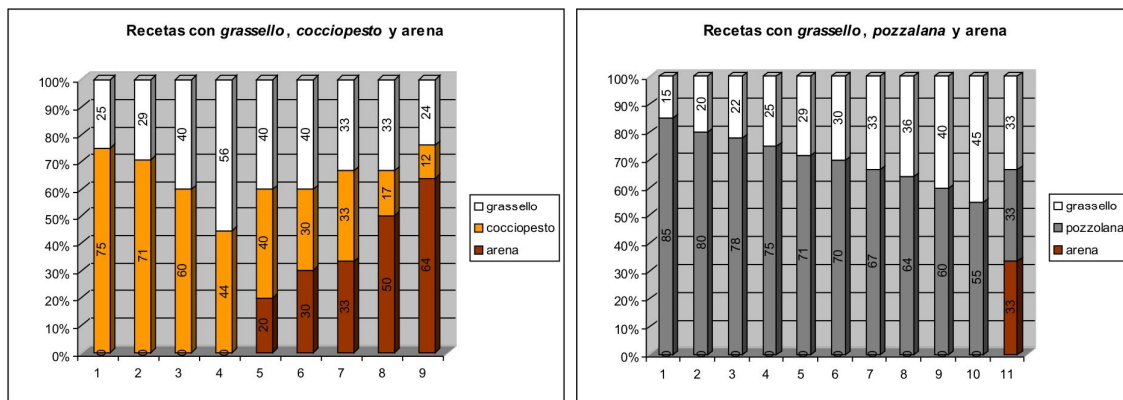
1. morteros con *grassello* de cal, pozzolana y, en raros casos, también arena;
2. morteros con *grassello* de cal, *cocciopesto* y/o arena;
3. morteros con cal hidráulica, *pozzolana* y arena.

La presencia de pozzolana en los morteros con aglutinante constituido solo de cal hidráulica evidencia el escaso conocimiento de las propiedades de este última.



**Figura 2. Componentes Miembros de las mezclas tradicionales: *grassello* de cal, cal hidráulica, *cocciopesto*, *pozzolana***

La experiencia de algunos productores locales de morteros premezclados, además de miembro por la producción de morteros en obra según la tradición, sugiere del mismo modo de indagar el comportamiento de morteros bastardos, realizados empleando en el amasijo, que se ha elegido de proponer en la proporción más común entre los componentes aglutinante/agregado, o sea de 1:3, una mezcla legante constituida por *grassello* de cal y cal hidráulico blanco natural en cantidad variable. Tal receta es propuesta sea en el amasijo con *pozzolana* o en aquel con *cocciopesto*.



**Figura 3. Variabilidad de las recetas con *grassello* de cal, *pozzolana*/*cocciopesto* y arena**

Los componentes base de las mezclas tradicionales han sido provistos por un productor/distribuidor de materiales de la Sicilia Occidental. En particular, los materiales empleados por la experimentación son:

- *grassello* de cal, maduro en foso por 6 meses y tamizado más veces hasta a conseguir una pasta homogénea;
- cal hidráulico blanco natural NHL 2 (clasificación UN EN 459-1:2002);

- *pozzolana* de procedencia laziale, con granulometría variable entre 0 y 2 mm;
- *cocciopesto* con granulometría variable entre 0 y 3 mm, originando en la molienda y desecación de ladrillos rotos procedentes de sfabbricidi o bien de descartes de la elaboración de productos ladrillos procedentes de establecimientos locales.

A éstos tienen que sumarse los agregados locales, hallados directamente en cantera, con granulometría surtida entre 0 y 3 mm. En particular han sido retiradas arenas de naturaleza calcárea, y por lo tanto habientes como componente principal el carbonato cálcico -  $\text{CaCO}_3$ , procedentes de las canteras de Custonaci (TP), y arenas de naturaleza *dolomítica*, a base calcárea y magnésica  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , procedentes de las canteras de Boccadifalco, en las afueras del poblado de Palermo.

A susodichas "recetas" confeccionadas a piadosas' de obra según la tradición, la búsqueda acerca algunos productos de derivación industrial, hoy difusamente empleados en la obra constructora, sea de la nueva construcción que de restauración. Estos productos son particularmente agradables de las maestranzas en cuánto, siendo premezclados en establecimiento, y empaquetados en polvo en costales de dimensiones variables entre los 10 y los 25 kg, no solicitan otro que la sola añadidura de agua en el amasijo, según las indicaciones provistas por el productor.

Una cuestión recientemente levantada en el ámbito de la literatura científica italiana es el escaso conocimiento de todos los componentes de los premezclados, y en particular la presencia de eventuales aditivos declarados o escasamente expresados por el productor además de la eventual presencia de colantes a base de cemento, notoriamente incompatibles con las características químico-físicas de los materiales del patrimonio construido historiador, por la presencia de sulfatos.

Los premezclados indagados en el ámbito del presente estudio han sido provistos amablemente por el mismo productor. En particular han sido indagados tres productos, cuyas miembro, declaradas por el productor por la lectura de las relativas fichas técnicas, se informan en la tabla 1.

**Tabla 1. Componente declarado por el productor**

Nombre	Aglutinante	Agregados reactivos	Agregados no reactivos	Aditivos
MT	Cal hidráulica blanca natural NHL 3,5	-	Arena calcárea con granulometría 0-3 mm	Siempre son presentes dos tipos de aditivo: – un conservador hídrico constituido por pulpa de celulosa, útil a ralentizar el proceso de carbonatación; – un porcentaje de fibras sintéticas para contrastar los fenómenos de retirada.
IC	Cal hidráulica blanca natural NHL 3,5	<i>Cocciopesto</i> con granulometría 0-1,8 mm	-	
HD	Flor de cal' y Cal hidráulica blanca natural NHL 3,5	Pozzolana con granulometría 0-2 mm	-	

Según las indicaciones del productor la dosificación de los miembros en los productos premezclados ocurre según las más difusas relaciones aglutinante/agregado (de 1:3 a 2:5). Las pequeñas variaciones son debidas a las eventuales capacidades del agregadas de absorber una cantidad de agua tal que solicitan un eventual mayor cantidad de aglutinante.

Los amasijos indagados hasta ahora, relativamente a los que la presente contribución provee los primeros resultados experimentales, constituyen solamente una parte de aquéllos en que la entera búsqueda tiene corrida de valoración.

## **NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE EXPERIMENTACIÓN**

La actividad de normacion en el ámbito de las metodologías de prueba por la caracterización mecánica y física de los morteros por revoque está en constante puesta al día de parte de los institutos de normalización que a nivel nacional e internacional emanan e/o acogen de instituciones de orden superior, susodichas especificaciones técnicas.

En ámbito internacional tal actividad compite al ISO, *Internacionales Organization for Standardization*. A nivel europeo la actividad de normacion es regulada por el CEN, *European Commiteeee for Standardization*, cuyas normas EN son acogidas obligatoriamente por los institutos nacionales; este últimos acogen y adoptan las normas emanadas por los organismos superiores y elaboran las que conciernen campos de aplicación todavía no consideradas por los Institutos internacionales. En Italia esta actividad es desarrollada por él UNI, *Ente Nazionale italiano di Unificazione*.

Las normas que conciernen las metodologías de prueba por la caracterización mecánica y física de los morteros por revoque, cuyo se ha referido allí en las actividades de experimentación, soy tipo UN-EN, o sea son normas emanadas a nivel europeo y acogéis en Italia.

Con particular respeto a las pruebas por la caracterización mecánica del mortero han sido seguidas las siguientes normas:

- UN-EN 1015 -2:2007. Métodos de prueba de morteros para obras mural - Parte2: Muestreo global de los morteros y preparación de los morteros de prueba;
- UN-EN 1015 -3:2007. Métodos de prueba de morteros para obras mural - Parte3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (a través de mesa a sacudidas);
- UN-EN 1015 -11:2007. Métodos de prueba de morteros para obras mural - Parte11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero acartonado.

La determinación de la característica física de absorción de agua por capilaridad ha sido ejecutada según la norma:

- UN-EN 1015 -18:2004. Métodos de prueba de morteros para obras mural - Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad del mortero acartonado.

El análisis de dichas normas indica una reducida atención a los procedimientos de confeccionamiento de morteros según la tradición, o sea con ligante en forma de pasta, no seco, cuál es el *grassello*. Se halla además una leve inadecuación acerca las modalidades de crianza de las muestras, constituidas por viguetas de dimensiones iguales a 160x40x40 mm.

En razón de estas consideraciones y las posibilidades ofrecida por los aparejos disponibles cerca del *Laboratorio di Edilizia* del DPCE, los procedimientos de experimentación han sido modificados levemente por las peculiaridades específicas de los materiales en examen.



## Empaquetamiento de los morteros y elaboración de muestra

En razón de las modalidades de entrega de la componente base de los morteros, o bien de los mismos premezclados, en bolsitas o cubos procedentes directamente del establecimiento, el muestreo ha sido efectuado en acuerdo con el punto 5.2.5 de la norma UN-EN 1015 -2:2007 (100 mm debajo de la superficie, en tres diferentes puntos del cúmulo) de modo que garantizar la representatividad del campeón. La confección ha sido ejecutada en acuerdo con el punto 6.2.2 de la misma norma, o sea con mezclador conforme al EN 196-1, constituido de una taza fija y un alborotador rotatorio a baja velocidad: sin embargo mientras la prescripción de añadir lentamente, a la cantidad de agua preestablecida, el aglutinante en los primeros 15 s de mezcla se ha podido seguir en el caso de los productos premezclados. Contrario, en el caso de muestras con *grassello*, el aglutinante se ha mezclado al agua antes del inicio, por la imposibilidad ejecutiva de poderlo añadir después. Eso habría podido originar un mezclado no óptimo de los amasijos con *grassello*, con formación localizada de grumos.

Además es necesario añadir que, teniendo el *grassello* un contenido de agua no conocido, que no permite determinar el peso específico del mismo, se ha preferido no exceder en la cantidad de agua inicial de la mezcla, de modo que permitir eventuales añadiduras con un ulterior ciclo de mezcla de 90 s: se cree que tal procedimiento, no previsto de costumbre en el protocolo, puede ser también permitida para reducir la eventual formación de grumos en la mezcla. La mayor duración de la fase de mezcla debido a la lentitud de los procesos de carbonatación de la cal, no debería dar origen a fenómenos de falso fraguado.



**Figura 4. Determinación de la consistencia del mortero fresco.**

Sucesivamente a la preparación de la mezcla se ha procedido con la determinación de la consistencia del mortero fresco, en total acuerdo con la norma UN-EN 1015 -3:2007. Los valores de referencia para la consistencia del mortero son aquellos verificables en el folleto 2 del UN-EN 1015 -2:2007, expresados en función del diámetro del disco conseguible por la sacudida de un preciso volumen de mortero, de forma asignada. El reconocimiento de un determinado valor de consistencia debería garantizar un correcto contenido de agua en la mezcla y por lo tanto una reducción de los fenómenos de retirada del mortero debida a los excesos hídricos.

Las modalidades de confeccionamiento continuaron, para cada muestra de acuerdo con los procedimientos descritos da la UN-EN 1015 -11:2007. Dada la característica de hidraulicidad de las mezclas, el procedimiento adoptado por la preparación de las pruebas es aquél adoptado por los morteros con aglutinantes hidráulicos: el molde metálico, con superficies



bien aceitadas, es llenado en dos capas de mortero bien compactadas y regularizadas superiormente con una espátula<sup>8</sup>.

Las modalidades de maduración no pueden seguir en cambio los procedimientos relativos a los morteros con aglutinantes hidráulicos, debido a la lentitud de la carbonatación, por lo cual han adoptado aquellos para morteros de cal aérea, o para morteros retardadas: son previstos cinco días de maduración en el molde a temperatura igual a  $20 \pm 2$  °C y a humedad relativa de  $95 \pm 5\%$ , siguientes dos días a las mismas condiciones de humedad y a temperatura, pero removidos del molde, y por fin 21 días a humedad relativa al  $65 \pm 5\%$ . Se precisa que los morteros con aglutinantes hidráulicos deberían madurar dos días en el molde y cinco en el molde, antes de los 21 días de maduración al  $65 \pm 5\%$  de humedad relativa: se comprende que para morteros de carbonatación lenta, como son los morteros semi-hidráulicos, estos tiempos no permitirán una consistencia adecuada del mortero fuera del molde.

### **Pruebas de resistencia a la flexión y a la compresión**



**Figura 5. Determinación de la resistencia a flexión y a compresión.**

Las pruebas para la determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero acartonado han sido ejecutadas en total acuerdo a lo prescripto por la norma. En particular se ha procedido a la determinación de la masa de las muestras, por lo tanto se ha puesto cada vigueta en la máquina de prueba; el gradiente de carga adoptada, en acuerdo con el procedimiento de prueba, es igual a 50 N/s. Un ulterior parámetro solicitado por la máquina de prueba es la sensibilidad o sea el mismo valor de la disminución de carga siguiente a la rotura, superado el procedimiento de carga es para: tal indicador, si se programa sobre valores extremadamente bajos, no permite apreciar la rotura de la prueba, en cambio, si programa sobre valores altos, no permite la detención de la máquina de prueba y por lo tanto la restitución de un valor de carga o el de tensión a rotura. Para las pruebas de resistencia a flexión la sensibilidad fue programada igual a 0,01 kN.

Sobre los restos conseguidos después de la prueba de resistencia a flexión ha sido ejecutada, con la misma máquina, la prueba de resistencia a compresión. También, en este caso el gradiente de carga es igual a 50 N/s, mientras la sensibilidad, por las mismas razones, ha sido asignado un valor igual a 0,1 kN.

### **Pruebas de absorción por capilaridad**

Las metodologías previstas en la UN-EN 1015 -18:2004 por la confección y la maduración de las muestras es idénticas a las del UN-EN 1015 -11:2007, con el agregado de poner por debajo y por encima del molde metálico una hoja de papel de filtro, útil para absorber los excesos de agua de la muestra. Por la sencillez operativa se ha previsto emplear el mismo procedimiento adoptado para la ejecución de las pruebas de resistencia mecánica.



**Figura 6. Campeones inmersos en agua por la determinación del coeficiente de absorción por capilaridad.**

Además, en acuerdo con las indicaciones de la misma norma UN-EN 1015 -18:2004, se ha procedido con el sellado de las cuatro caras largas de las muestras. La elección del material de sellado más idóneo por la correcta ejecución de las pruebas ha sido necesaria la ejecución de algunos tests preliminares sobre algunos campeones. En efecto, según la norma, el material sellador tiene que ser una parafina o bien una resina sintética reactivo, con punto de fusión mayor de 60°C, pero nada es indicado sobre la consistencia del mismo material, o bien sobre las modalidades de aplicación. Se observa que el sellador tiene que presentar una forma fluida, para permitir su colocación sobre las caras de las muestras, pero sumamente viscosa, para impedir que el mismo sea absorbido dentro de los poros superficiales, alterando así los resultados de la prueba. Se adoptó por lo tanto una resina acrílica espatulable, soluble en agua, con punto de fusión mayor de 70°C y tiempo de laborabilidad igual o cerca a una hora.

Las muestras han sido por lo tanto selladas, secadas en estufa ventilada a 60°C y rotas en dos mitades. En relación a la modalidad de rotura, siendo el material sellador bastante elástico, se ha observado el siguiente procedimiento:

1. corte del sellador sobre las cuatro caras de la vigueta, en correspondencia del mezzera, útil para conseguir una superficie de rotura regular;
2. rotura de la muestra en dos mitades por medio de una cuña.

La fase siguiente consiste en la inmersión de las muestras en agua, por una profundidad de unos 10 mm, previo pesaje de los mismos. Da la especificidad de empleo de las tipologías de morteros, se cree útil registrar el valor del coeficiente de absorción en las dos formas previstas de la norma, o sea:

$$C_A = 0,1 (M_2 - M_1) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$$

y, en la forma indicada por los morteros de restauración

$$C_B = 0,625 (M_3 - M_0) \text{ kg}/\text{m}^2$$

Dónde:

$M_0$  es la masa seca de cada muestra;

$M_1$  es la masa de la muestra después de 10 minutos de inmersión;

$M_2$  es la masa de la muestra después de después de 90 minutos de inmersión;

$M_3$  es la masa de la muestra después de 24 h, con las individuales masas expresaron en gramos.

## RESULTADOS DE ENSAYO

El número de pruebas y la voluntad de conseguir una primera serie de datos que cubriera buena parte del campo de investigación ha llevado a ejecutar, en primer instancia, un campo de experimentación vuelve a examinar no necesariamente a muestras parecidas entre ellas, si no en las características generales del campo de examen.

Se informa en la tabla 2 el detalle de las muestras examinadas, con la eventual receta: al propósito, se observa que las relaciones entre los diferentes componentes, en acuerdo con las indicaciones de la tradición, son expresados en volumen, por la sencillez de realizar determinados amasijos con precisos volúmenes de material (el volumen es expresado, en la práctica de los astilleros, del recipiente útil a retirar el componente del cúmulo).

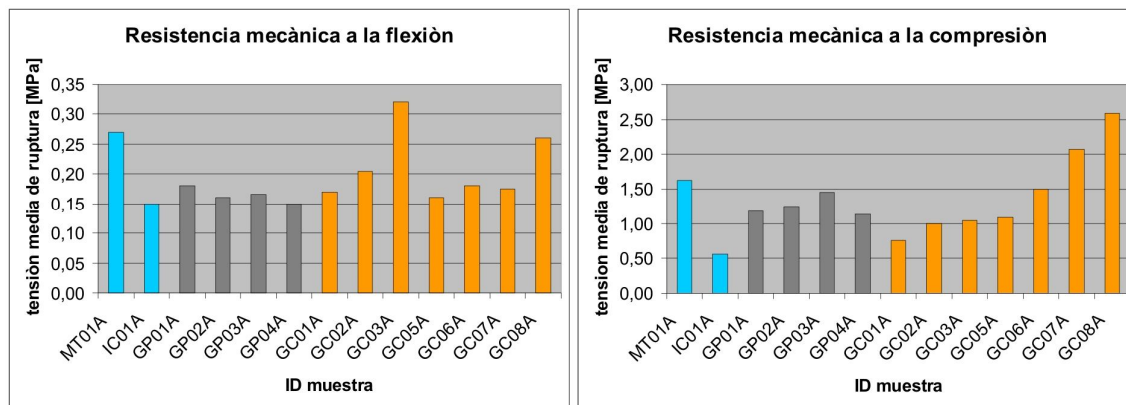
El examen de los datos que se refieren a la prueba de determinación de la resistencia a flexión revela que la rotura ocurre de manera casi inmediata a la aplicación de la carga, por lo cual se registran valores extremadamente reducidos de la tensión mediana de rotura; se observa, además, una suficientemente alta variabilidad de los datos, especialmente en el caso de los morteros realizados con cocchiopesto.

**Tabla 2. Muestras examinados, componentes y tests ejecutados**

ID muestra	Premezclados	Aglutinante		Agregados reactivos		Pruebas	
		grassello	cal hidráulica	puzolana	cocciopesto	Flexión - compresión	Absorción
MT01A	•					•	•
IC01A	•					•	•
GP01A		1		2		•	•
GP02A		1		3		•	
GP03A		4	1	15		•	
GP04A		1		4		•	
GC01A		1			3	•	•

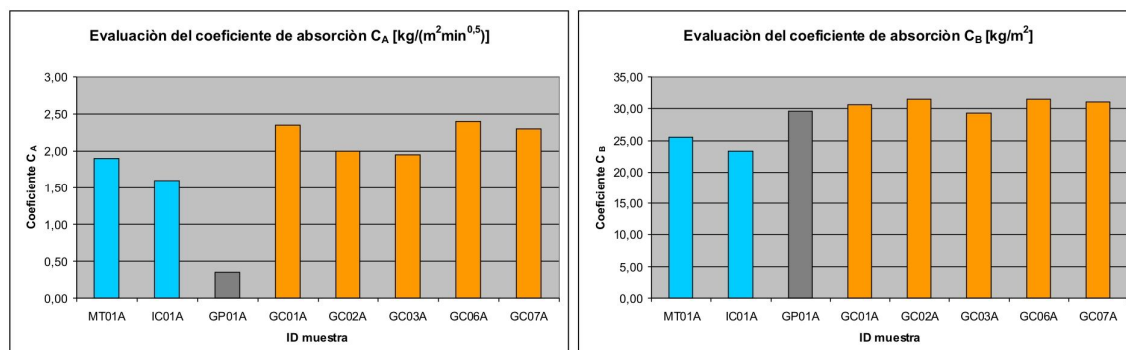
GC02A		2			3	•	•
GC03A		5			4	•	•
GC05A		4	1		15	•	
GC06A		3	2		15	•	•
GC07A		2	3		15	•	•
GC08A		1	4		15	•	

En cambio, en las pruebas de resistencia a compresión se observa que muchas mezclas de mortero con *pozzolana* presentan valores de resistencia a compresión mediamente más elevada que aquellos de los morteros con *cocciopesto*, a menos que estos no presenten, en el componente aglutinante, un porcentaje de cal hidráulica. Como es lógico, a un aumento del porcentaje de cal hidráulica en la mezcla se observa una mejoría de las características mecánicas del mortero.



**Figura 7. Resistencias a flexión y a compresión.**

Con respecto a los premezclados, se observa que las bajas prestaciones mecánicas del tipo IC01A pudieran derivar de un leve exceso de agua registrado en la mezcla, con el consiguiente derrumbe de las resistencias mecánicas. Sin embargo se observa que una disminución de la resistencia mecánica del tipo IC01A con respecto de MT01A es comprensible, en razón del agregado calcáreo presente en esta última prueba.



**Figura 8. Valores de los coeficientes de absorción.**

La observación de los valores de los coeficientes de absorción enseña resultados diferentes entre la valoración de la absorción en el mediano término ( $C_A$ ) y en el largo término ( $C_B$ ), más idónea, según la norma UN-EN 1015 -18:2004 para los morteros de restauración. Se observa, en efecto, que en el caso en que se considera el coeficiente  $C_B$ , se consiguen valores del coeficiente comparable entre ellos en el orden de tamaño, con un máximo de  $31,50 \text{ kg/m}^2$  para el tipo GC06A y un mínimo de  $23,35 \text{ kg/m}^2$  para el tipo IC01A.

El coeficiente de absorción en el mediano término  $C_A$ , muestra en cambio un comportamiento diferente de los valores asumidos por cada muestra. Se observa, en efecto, un máximo de  $2,40 \text{ kg/m}^2\text{min}^{0,5}$  para el mismo tipo GC06A, mientras el mínimo es para el tipo GP01A, con un valor de  $0,35 \text{ kg/m}^2\text{min}^{0,5}$ . Se evidencia, además, que las muestras de morteros confeccionados con productos premezclados, ofrecen valores de los coeficientes de absorción mediamente más bajas de aquellos de los morteros mezclados según "recetas" tradicionales.

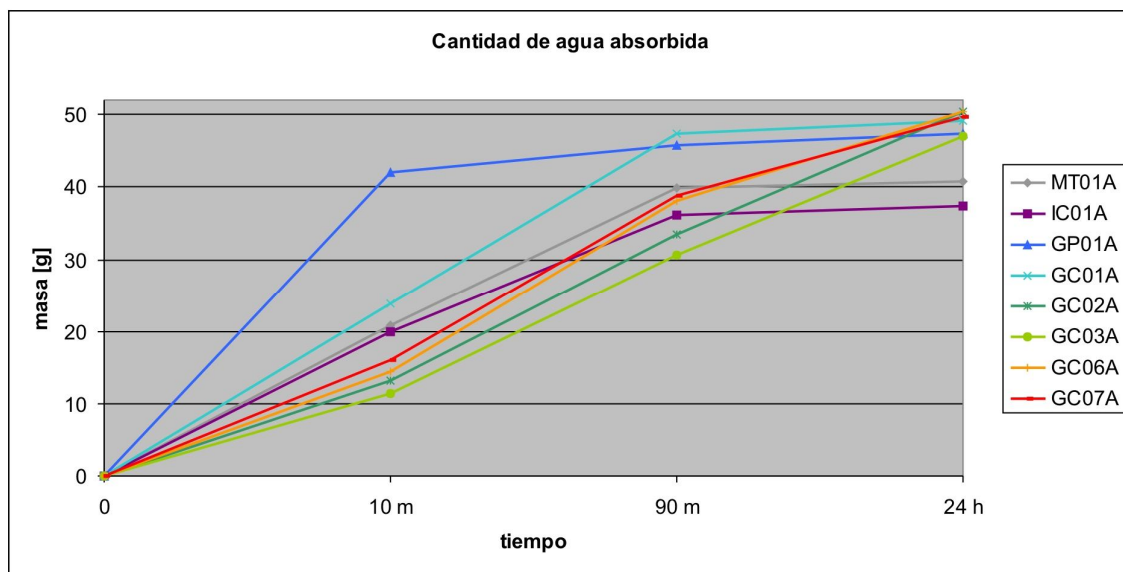


Figura 9. Cantidad de agua absorbida.

Con respecto a la prueba por la determinación del coeficiente de absorción además es oportuno valorar, junto a dichos coeficientes, la cantidad de agua absorbida en las 24 horas. En particular se observa que el tipo GP01A presenta una notable absorción en los primeros 10 minutos de la prueba, después se observa un leve aumento de la masa de agua. De manera parecida, también se registra en las muestras con productos premezclados un reducido aumento de la cantidad de agua entre los 90 minutos y las 24 horas.

Las muestras que presentan mejor el comportamiento son aquellas mezcladas con *cocciopesto*.

Se observa, en IC01A, GP01A y GC01A que presentan un baño visible de la superficie libre de la muestra al ya vencer los primeros 90 minutos de prueba. Tal condición es satisfecha por los restantes al final de las 24 horas de prueba.

## CONCLUSIONES

El análisis de los datos hasta ahora examinado abre interesantes desarrollos a la búsqueda, útiles para profundizar y sobre todo cuantificar el comportamiento conocido en la literatura técnica de sector, pero también para desarrollar mayores conocimientos acerca del comportamiento de la tipología de mortero hidráulico, también con interesantes aplicaciones en obra y consiguientes verificaciones del comportamiento en el tiempo. El análisis además resulta útil por la verificación de las prestaciones de los productos locales, también en relación a las condiciones ambientales especificaciones del ámbito geográfico en examen.

Se cree, además, que la oportunidad ofrecida a los operadores del sector de averiguar las prestaciones de productos, cuyas características y cuyo comportamiento podrían resultar poco conocidos también en falta de los ya cada vez más requeridas certificaciones de garantía es útil: Este aspecto aparece particularmente interesante en el ámbito de los productos premezclados que, ofreciendo una notable economía de mano de obra en la obra, registran una notable difusión que no corresponde siempre con una adecuada información de parte de los productores.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a la Dra. Donatella Bianco y la Dra. Patrizia Campisi la para la traducción.

## REFERENCIAS

- [1] ARCOLAO C. "LE RICETTE DEL RESTAURO. MALTE, INTONACI, STUCCHI DAL XV AL XIX SECOLO". Saggi Marsilio, Venezia, 1998, pp. 284.
- [2] BROCKLEBANK I. "LE VARIANTI DELLA CALCE (THE LIME SPECTRUM)", [http://www.forumcalce.it/pdf/forumcalcenews/forumcalcenews\\_6\\_2008.pdf](http://www.forumcalce.it/pdf/forumcalcenews/forumcalcenews_6_2008.pdf).
- [3] COSTA G., "MATERIALI E TECNICHE TRADIZIONALI ED INNOVATIVE PER LE FINITURE AD INTONACO NELLA SICILIA OCCIDENTALE: CONOSCENZA, ANALISI, PRESTAZIONI", In: *L'attività di ricerca nel dottorato: ambiti, metodi, prospettive. Atti della giornata di studio*. TCP, Pavia, 2008. pp. 223-226.
- [4] FATTA G. "INTONACI A PALERMO – MATERIALI E TECNICHE COSTRUTTIVE NELLA TRADIZIONE PALERMITANA". *Recupero e Conservazione*, N° 24, De Lettera Editore, Milano, 1998, pp. 26-39.
- [5] FEIFFER C., "LA CONSERVAZIONE DELLE SUPERFICI INTONACATE. IL METODO E LE TECNICHE". Skira Editore, Milano, 2000, pp. 317.
- [6] PECCHIONI E., FRATINI F., CANTISANI E., "LE MALTE ANTICHE E MODERNE TRA TRADIZIONE ED INNOVAZIONE". Patron Editore, Bologna, 2008, pp. 238.
- [7] VELOSA A., VEIGA R. "USE OF ADDITIVATED LIME MORTARS FOR OLD BUILDING REHABILITATION. ADAPTED TESTING METHODS". In: *Proc. 9th Int. Conf. "Durability of building materials and components"*. Brisbane, Australia, March 2002, paper 174.

---

<sup>1</sup> Louis-Joseph Vicat publicó una primera serie de estudios sobre las cales, los cementos y los morteros en el 1818, con el título *Recherches expérimentales sur le chaux de construction, les bétons et les mortiers ordinaires*.

<sup>2</sup> Una caliza define *marnoso* si contiene sobre arcilla cierto porcentaje.

<sup>3</sup> Material a alto contenido de silicatos cálcico, óxido de aluminio y óxido de hierro, conseguidos a través de cocción de calizas y arcillas a temperaturas de 1400-1500°C, tales de permitir parciales fusiones de los productos de reacción.

<sup>4</sup> Tal estudio se introduce en una más amplia investigación, sobre las mismas tipologías de morteros, actualmente en curso de desarrollo cerca del Dipartimento di Progetto e Costruzione Edilizia de la universidad de Palermo (Italia), en el ámbito de la tesis de doctorado del ing. G. Costa (tutor prof. G. Fatta).

<sup>5</sup> Los modernos sistemas de apagamiento de la cal están hoy principalmente revueltos a la producción de cal hidrata en polvo con la técnica de la aspersión. Incluso sin embargo se halla siempre uno mayor número de productores que, mecanizando, y por lo tanto controlando mejor, el proceso de producción por riego, contempla a la comercialización de la cal en *grassello*, también con tiempos de maduración no estrechamente reducidos por las exigencias de comercialización rápida de los productos.

<sup>6</sup> Un mortero se define *estiaje* si la cantidad porcentual de mortero es reducida; viceversa, si la cantidad de legante en el amasijo es notable el mortero se dice *gordo*.

<sup>7</sup> Por *flor de cal* se entiende una cal hidrata en polvo con contenido de hidratos de patada y magnesio >91%

<sup>8</sup> Con referencia a la dificultad de confeccionamiento de las pruebas según los procedimientos previstos por los morteros de cal aérea Velosa A. se vea, Veiga R., *Use of additivated lime mortars for old building rehabilitation. Adapted testing methods*. In: *Proc. 9th Int. Conf. "Durability of building materials and components"*, Brisbane, Australia, March 2002.